

Diagnostika poruch silových kabelových vedení

Fault diagnostics of cable power lines

Ondřej Šaněk

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Kolář, Ph.D.

Ostrava, 2021

ABSTRAKT

Tato práce pojednává o hledání poruch na zemním kabelovém vedení. V úvodu této práce popisují základní problematiku lokalizace kabelových poruch a jednotlivé metody hledání poškozených míst na kabelech. Je zde popsána technika, která slouží k tomuto účelu. Seznamuji čtenáře s různými typy reálných poruch, které bylo nutné dohledat přímo v terénu, zvolenou metodou a následně vyhodnocení, jak popisovaná porucha mohla s největší pravděpodobností vzniknout.

KLÍČOVÁ SLOVA: porucha, kabelové vedení, lokalizace, kabel

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the search for faults on the ground cable line. In the introduction of this work I describe the basic issues of locating cable faults and individual methods of finding damaged places on cables. A technique for this purpose is described herein. I acquaint the reader with various types of real faults, which had to be traced directly in the field, the chosen method and then the evaluation of how the described fault could most likely have occurred.

KEY WORDS: fault, cable line, locating, cable

Obsah

Úvod	8
Seznámení	8
Důvody měření	8
Měřicí přístroje	9
Rozdělení poruch	11
Určení rozsahu poškození	12
Test izolace	12
Princip zobrazení poruchy	13
Pulzní reflektometrie	13
Odraz vlny	13
Předběžná lokalizace vysokoohmových kabelových poruch	15
Měření odrazu oblouku (ARM)	15
Napěťová vazba (DECAY)	15
Proudová vazba (ICE)	15
Úprava poruchy – Propalování	16
Vyhledání kabelové trasy	17
Vlastní vyhledání poruchy	18
Test pláště a přesná lokalizace poruch pláště	18
Přesná lokalizace poruch	18
Příklady poruch na kabelech	19
Poruchy na kabelech NN	19
Porucha 1	19
Porucha 2	21
Porucha 3	22
Porucha 4	23
Porucha 5	24
Porucha 6	26
Porucha 7	27
Porucha 8	28
Porucha 9	29
Porucha 10	31
Poruchy VN	33

Porucha 1.....	33
Porucha 2.....	35
Porucha 3.....	37
Porucha 4.....	38
Porucha 5.....	39
Porucha 6.....	41
Porucha 7.....	42
Porucha 8.....	44
Porucha 9.....	45
Porucha 10.....	46
Srovnání lokalizačních metod.....	47
Vliv projektování kabelových vedení na následnou lokalizaci poruch	48
Závěr	49
Seznam literatury	50

Seznam obrázků

Obr. 1 Centrální ovládání měřícího vozu	9
Obr. 2 Zadní část měřícího vozu	9
Obr. 3 Prostor s příslušenstvím pro diagnostiku	10
Obr. 4 Externí měřící přístroje	10
Obr. 5 Diagram postup měření.....	11
Obr. 6 Reflektogramy TDR.....	14
Obr. 7 Por.1-NN-označené místo	19
Obr. 8 Por.1-NN-obnažená porucha.....	20
Obr. 9 Por.1-NN-vystřižené porušené místo	20
Obr. 10 Por.2-NN-označené místo	21
Obr. 11 Por.2-NN-obnažené místo.....	21
Obr. 12 Por.2-NN-detail místa poškození.....	21
Obr. 13 Por.3-NN-označená místa.....	22
Obr. 14 Por.4-NN-obnažený kabel-foto1	23
Obr. 15 Por.4-NN-obnažený kabel-foto2	23
Obr. 16 Por.4-NN-obnažený kabel-foto3	23
Obr. 17 Por.5-NN-obnažený kabel	24
Obr. 18 Por.5-NN-poškozená trubka	24
Obr. 19 Por.5-NN-detail porušeného kabelu	25
Obr. 20 Por.6-NN-poškození kabelu.....	26
Obr. 21 Por.6-NN-sonapka (důvod poruchy).....	26
Obr. 22 Por.7-NN-místo poruchy	27
Obr. 23 Por.7-NN-detail poškození	27
Obr. 24 Por.7-NN-obnažený kabel	27
Obr. 25 Por.8-NN-označené místo	28
Obr. 26 Por.8-NN-obnažené místo poruchy.....	28
Obr. 27 Por.8-NN-detail poruchy	28
Obr. 28 Por.9-NN-místo výkopu	29
Obr. 29 Por.9-NN-poškození kabelu.....	29
Obr. 30 Por.9-NN-detail zkorodované žíly.....	30
Obr. 31 Por.10-NN-místo 1.....	31
Obr. 32 Por.10-NN-místo 1. detail.....	31
Obr. 33 Por.10-NN-místo 2. zcela obnažený kabel.....	32
Obr. 34 Por.10-NN-místo 3.....	32
Obr. 35 Por.10-NN-vadná spojka.....	32
Obr. 36 Por.1-VN-reflektogram	33
Obr. 37 Por.1-VN-obnažená spojka	33
Obr. 38 Por.1-VN-detail poruchy 1.....	34
Obr. 39 Por.1-VN-detail poruchy 2.....	34
Obr. 40 Por.2-VN-výkop na označeném místě	35
Obr. 41 Por.2-VN-detail poruchy.....	35
Obr. 42 Por.2-VN-opravený kabel	36

Obr. 43 Por.3-VN-detail poruchy.....	37
Obr. 44 Por.3-VN-typ kabelu + r.v.	37
Obr. 45 Por.4-VN-obnažené místo poruchy	38
Obr. 46 Por.4-VN-porucha v trase kabelu	38
Obr. 47 Por.4-VN-detail poruchy.....	38
Obr. 48 Por.5-VN-obnažené označené místo	39
Obr. 49 Por.5-VN-vystřižené porušené místo	39
Obr. 50 Por.5-VN-porucha v místě označení.....	39
Obr. 51 Por.5-VN-detail poruchy.....	40
Obr. 52 Por.6-VN-Místo poruchy.....	41
Obr. 53 Por.6-VN-porucha.....	41
Obr. 54 Por.7-VN-zaměřené místo poruchy.....	42
Obr. 55 Por.7-VN-porucha.....	42
Obr. 56 Por.7-VN-opravené místo.....	43
Obr. 57 Por.8-VN-lokalizované místo	44
Obr. 58 Por.8-VN-obnažený kabel.....	44
Obr. 59 Por.8-VN-detail poruchy.....	44
Obr. 60 Por.9-VN-označené místo poruchy	45
Obr. 61 Por.9-VN-nalezená porucha	45
Obr. 62 Por.9-VN-detail poruchy.....	45
Obr. 63 Por.10-VN-koncovky po poruše.....	46
Obr. 64 Por.10-VN-koncovky před poruchou.....	46

Úvod

Seznámení

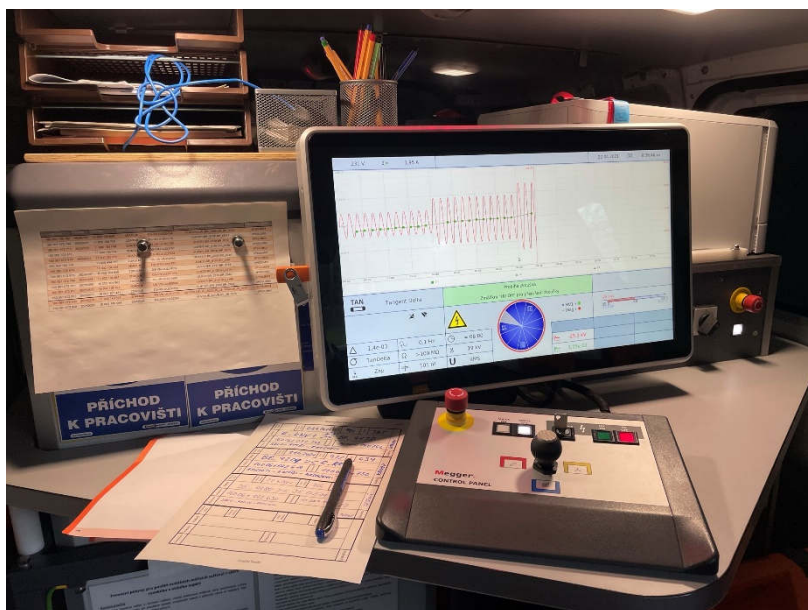
Při distribuci elektrické energie k zákazníkovi a také od zákazníka se využívají dva základní typy přenosu. Jedním způsobem je rozvod povrchový – neizolované vodiče a kabely jsou viditelně zavěšeny na podpěrných bodech v určité výšce, aby toto vedení bylo v bezpečné vzdálenosti a nedocházelo k nechtěnému kontaktu osobami, zvířaty nebo mechanismy. Druhým způsobem je rozvod podpovrchový, kde se k tomuto účelu využívá kabelových vedení uložených v zemi. Kabely jsou v celé své délce schovány pod terénem a pro člověka za normálních podmínek nedostupné. Tento způsob rozvodu je velice rozšířen, protože nedochází k narušení samotného rázu krajiny a z pohledu provozovatele je u takového vedení eliminována poruchovost způsobená povětrnostními vlivy. Ačkoliv kabelové vedení není přímo ovlivněno počasím, existuje zde problém, kdy izolace kabelu již není schopna plnit svou funkci. Dochází tak k narušení celistvosti, které vyvolá poruchový stav. Oprava takovýchto poruch je obtížnější z důvodu, nutnosti odstranění zeminy okolo kabelu. Následně je možno porušenou izolaci opravit. Aby bylo možné toto provést, je nutné určit přesné místo narušení. U venkovního vedení lze místo poruchy nalézt pohledovou kontrolou, ale tato metoda je u zemního kabelového vedení nevhodná.

Důvody měření

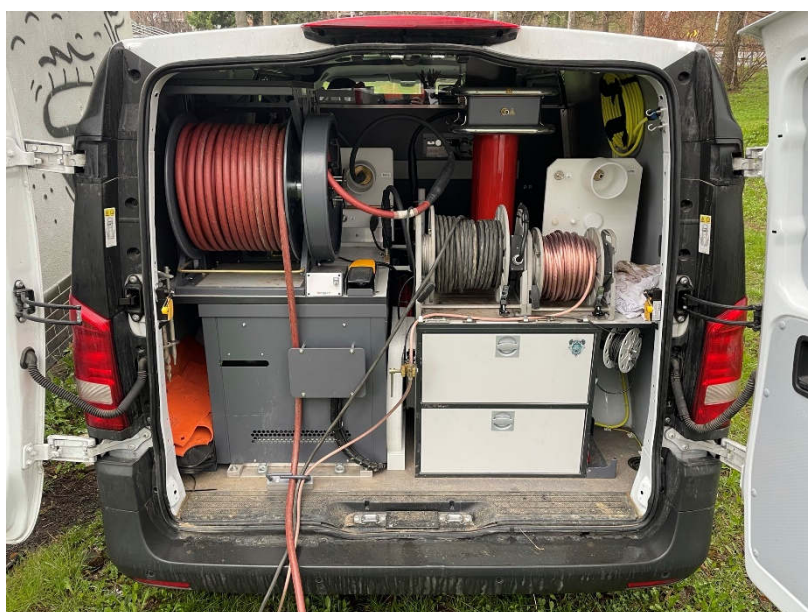
Přesné nalezení místa poruchy a následná oprava izolace zemního kabelového vedení jsou velmi důležité z důvodu znovuzprovoznění a obnovení dodávky elektrické energie. Tato činnost s sebou ovšem nese problém v tom, že kabel vede mezi dvěma rozpojovacími body v zemi, kde není vidět. Vzdálenost mezi těmito body se pohybuje od několika málo metrů až po jednotky kilometrů. Obnažení porušeného místa musí být provedeno s důrazem na minimální zásah do okolního terénu. Nelze vykopat celý kabel, aby mohla být provedena pohledová kontrola celistvosti izolace. Proto se provádí za pomoci nejrůznějších měřících přístrojů lokalizace poruch na silových kabelech.

Měřicí přístroje

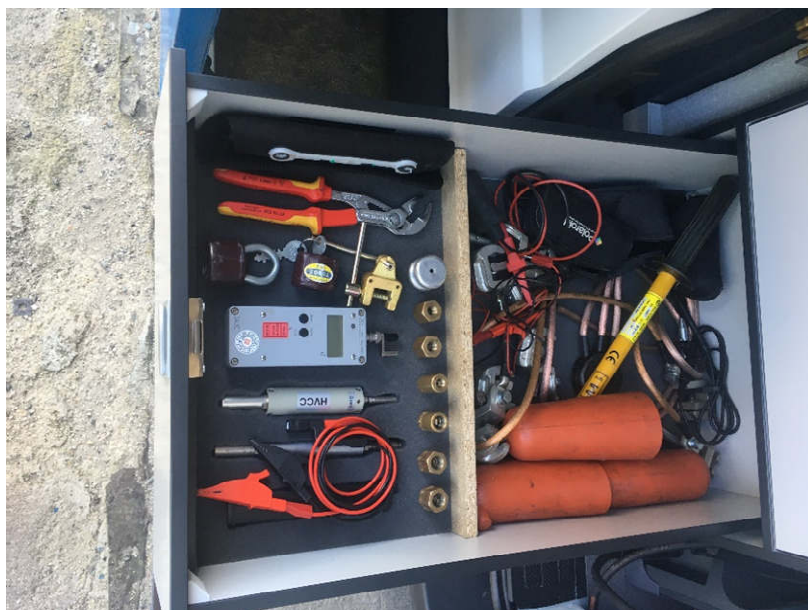
Zařízení sloužící k lokalizaci poruch zemního kabelového vedení popisované v této bakalářské práci je součástí systému integrovaného v kabelovém měřicím voze, aby byl tento systém mobilní a mohl být využíván vždy tam, kde dojde k nefunkčnosti kabelu a je nutné určit co možná nejpřesněji místo, kde vznikla porucha. Nedílnou součástí jsou také přenosné měřicí přístroje nezbytné k předměření poruch. Tento měřicí vůz není vybaven jen technikou potřebnou pro hledání poruch na kabelech nízkého a vysokého napětí, ale i měřicími přístroji pro provádění diagnostiky. Lze jimi provádět napěťové zkoušky, měření ztrátového činitele Tangens Delta a částečné výboje v izolaci vysokonapěťových kabelů.



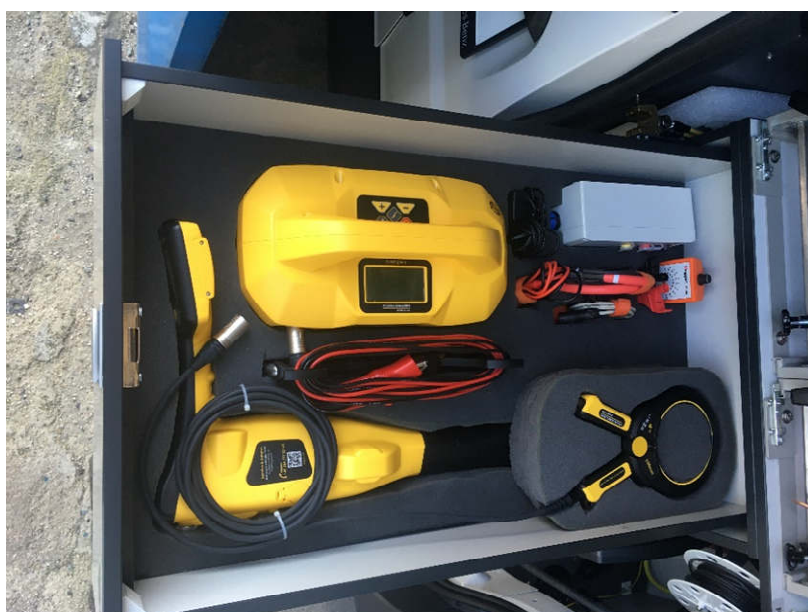
Obr. 1 Centrální ovládání měřicího vozu



Obr. 2 Zadní část měřicího vozu



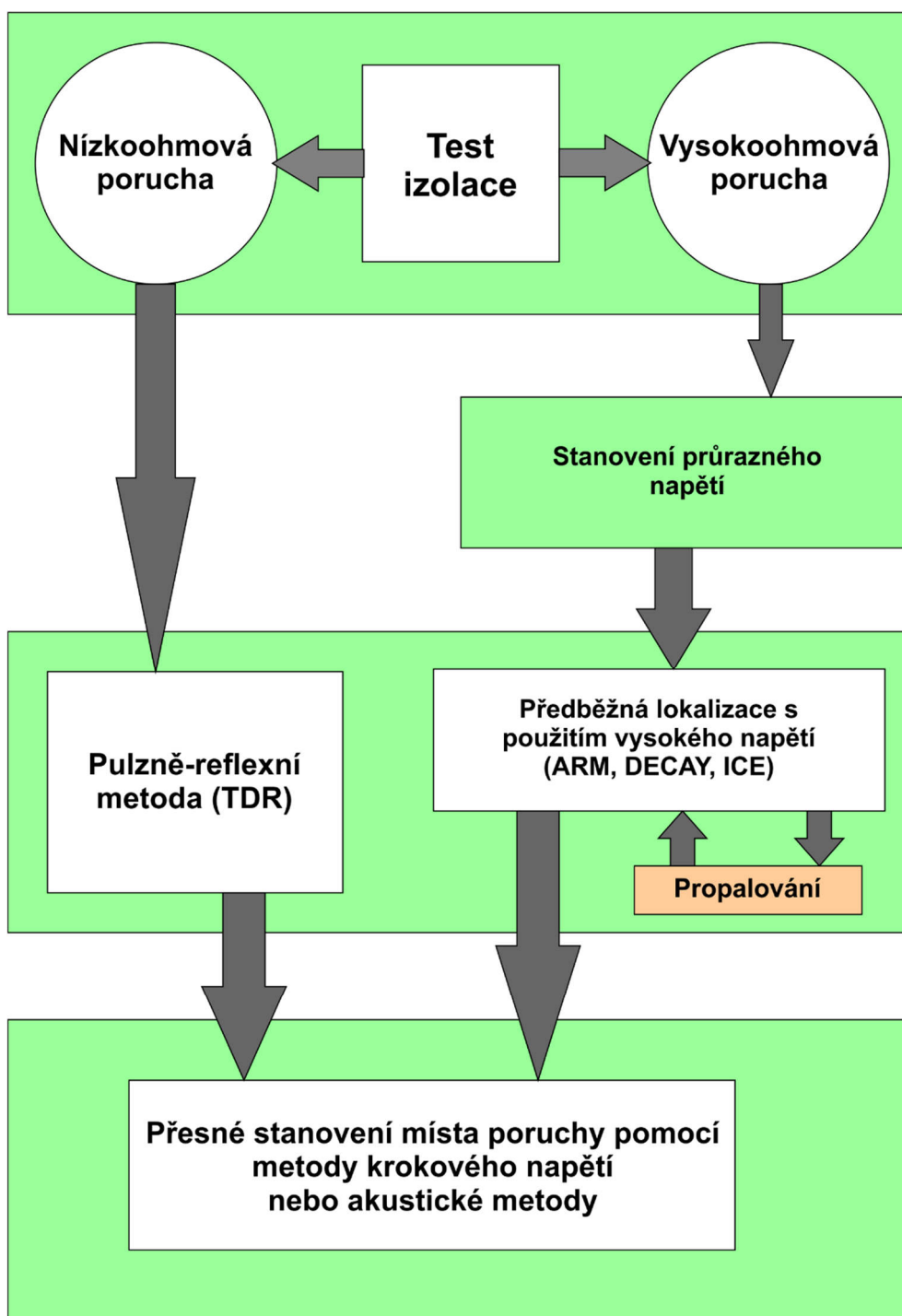
Obr. 3 Prostor s příslušenstvím pro diagnostiku



Obr. 4 Externí měřicí přístroje

Rozdělení poruch

Poruchy na silových kabelech lze rozdělit na dva základní typy. Nízko-ohmové a vysoko-ohmové. Podle toho, o jaký typ poruchy se jedná, volíme různé druhy předměřících metod. Aby bylo možné provést přesnou lokalizaci kabelové poruchy na co nejkratším úseku kabelové trasy, je nutno provést důkladnou předběžnou lokalizaci. Tím bude dosaženo podstatného zkrácení celkové doby lokalizace při současné ochraně kabelů.



Obr. 5 Diagram postup měření

Určení rozsahu poškození

Test izolace

Po uvolnění kabelu z provozu je nejprve nutné určit rozsah poškození kabelu změřením jeho izolačního stavu. Toto základní měření ohmického izolačního odporu velice spolehlivě odhalí odchylky odporu v kabelovém systému a lze tak vyvodit závěr o postižených fázích. Toto měření je vhodné jak pro kabely nízkého napětí, tak i ve většině případů pro předměření vysokonapěťových kabelů, protože zkratový proud spálí spolehlivě izolaci do takové míry, že se jedná o poruchu nízko ohmovou. Ale v některých případech musíme zvolit jiný přístroj, který generuje mnohem vyšší napětí, abychom docílili přeskočů.

Princip zobrazení poruchy

Pulzní reflektometrie

Nízkoohmové kabelové poruchy lze zobrazovat pomocí osvědčeného a široce rozšířeného měření metodou pulzní reflektometrie. Tato metoda je založena na principu radaru a využívá skutečnosti, že odchylky charakteristické impedance kabelu odrážející část energie vysílané do kabelu. Stupeň odrazu závisí na velikosti odchylky charakteristické impedance, počtu odrazů, délce kabelu a vzdálenosti od místa poruchy.

Přístroj se připojí na začátek měřeného kabelu a odrazy vln šířících se kabelem vykreslí délku kabelu a v některých případech také místo kabelové poruchy. Místo kabelové poruchy je vykresleno pouze v případě, že je kabel přerušen (vzájemný odpor mezi porovnávanými žilami, nebo žilou a zemí je v řádech stovek ohmů a více), případně zkratován. To bývá vzájemný odpor mezi porovnávanými žilami v řádu jednotek až desítek ohmů (přibližně do 40 Ω). V ostatních případech může být porucha lehce zaměněna se změnou impedance v trase kabelu. Toto reflektometrické měření je vhodné pro ověření provést z obou stran kabelu. Nastavením kurzorů lze následně odečíst vzdálenost od místa měření.

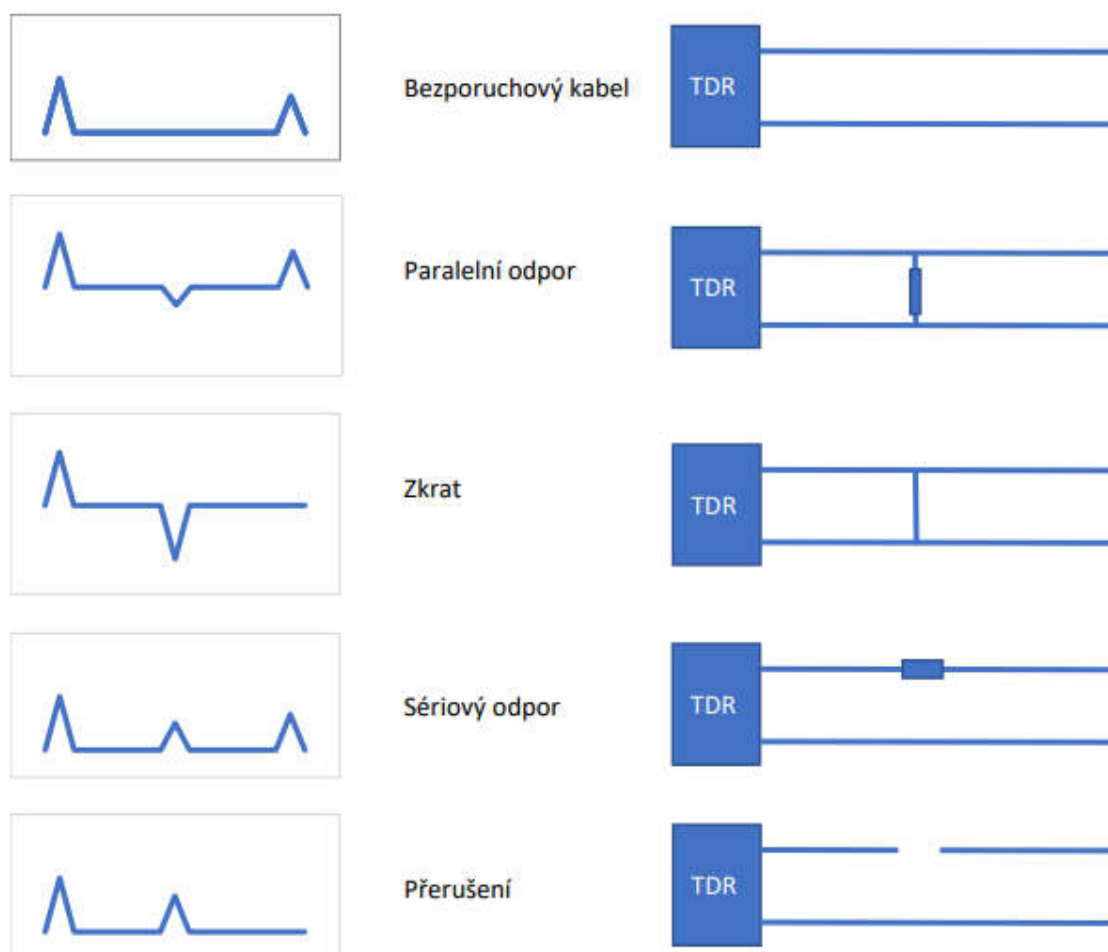
Reflektometry pracují na principu šíření a odrazu vlny. Vlna se šíří prostřednictvím hmotných částic, které kmitají kolem rovnovážné polohy, ale nepřemísťují se ve směru šíření vlny. Důležitá je pružná vazba mezi částicemi a možnost pohybu v příčném nebo podélném směru. Pohyb se přenáší z jedné částice na druhou, a tak postupuje hmotou. Pokud se částice vychylují ve směru kolmém na směr šíření vlny, jedná se o vlnu příčnou neboli transversální. Pokud se částice pohybují ve směru šíření vlny, jedná se o vlnu podélnou neboli longitudinální. Tento typ vlny je typický pro šíření zvuku.[3]

Elektromagnetické vlny, například světlo, nepotřebují ke svému šíření hmotné prostředí a šíří se prostorem rychlostí $c = 299\,792\,458$ m/s. Vlna šířící se kabelem je však „brzděna“ materiálem, a proto je rychlost šíření podstatně menší než uvedená rychlost c . Protože rychlost šíření kabelem je hodnota pro určení délky kabelu, případně místa poruchy velice důležitá, její znalost je nezbytná pro nastavení reflektometru. [4]

Odraz vlny

K odrazu dochází u všech druhů vln, a to na rozhraní dvou prostředí. Například odraz TV vln od budov, ale i obyčejné zrcadlo je založeno na principu odrazu vln. Odraz vlny šířící se kabelem si lze představit jako odraz vlny na napnuté struně. Když vlna doputuje na konec struny, odrazí se. U pevného uchycení struny působí příchozí pulz na stěnu silou. Stejně velkou silou působí i stěna na strunu, tím vlastně vytváří novou vlnu s opačnou výchylkou v místě stěny. Po sečtení vln je zde pak uzel, u kabelu uzel napětí (tvrdý odraz). Druhý případ odrazu vlny lze realizovat například prstencem, jenž může volně a bez tření klouzat po tyči. Při pohybu prstence nahoru se element struny napíná a má tendenci vrátit prsteneček dolů. V tomto případě se vlna odráží s nezměněnou polaritou výchylky a vzniká zde kmitna, u kabelu kmitna napětí. Tomuto odrazu na struně s volným koncem odpovídá odraz na kabelu, jehož konec není zkratován. Při hledání poruchy svědčí tento odraz v průběhu trasy kabelu o přerušení kabelu

v tomto místě. Konec kabelu na takto poškozené fázi bývá nezřetelný, neboť k odrazu dojde v přerušném místě.[3]



Obr. 6 Reflektogramy TDR

Předběžná lokalizace vysokoohmových kabelových poruch

Vysokoohmové kabelové poruchy odrážejí impulzy nízkého napětí při normální pulzní reflektometrii nedostatečně nebo vůbec. Proto nelze místo poruchy identifikovat pomocí zaznamenaného reflektogramu. Pro takové případy bylo zavedeno několik dalších předlokalizačních metod, z nichž každá kombinuje vysokonapěťový přenos s pulzní reflektometrií. Všechny tyto metody používají v místě poruchy nucený oblouk prostřednictvím průrazu způsobeného náhlým vybitím nabitého kondenzátoru. Vzhledem k tomu, že porucha po krátkou dobu způsobí nízkoohmový stav kabelu, její pozici lze zjistit po uplynutí této doby pomocí pulzní reflektometrie.[1]

Měření odrazu oblouku (ARM)

Metoda ARM je vhodná pro předběžnou lokalizaci vysokoohmových kabelových poruch u výkonových kabelů. U poruch s nízkým zápalným napětím je předběžnou lokalizaci nutno zahájit pomocí této metody. Při lokalizaci poruchy se nejprve zohlední reflektogram při normálních podmínkách. Nabitý kondenzátor je následně rychle vybije do kabelu a provede se měření odrazů ve statickém oblouku vyvolaném zápalným napětím. Přímé srovnání referenčního a poruchového obrazu obvykle umožňuje okamžitou, zřetelnou identifikaci místa poruchy, neboť díky odrazu od hořícího oblouku vykazuje poruchová křivka výrazně negativní odraz v místě poruchy v porovnání s referenční křivkou.[1]

Napěťová vazba (DECAY)

Metoda DECAY se používá k předběžné lokalizaci vysokoohmových kabelových poruch pomocí vysokého zápalného napětí poruch u kabelů, které lze nabíjet. Pro tento účel se kabel nabíjí stejnosměrným napětím, dokud napětí nepřekročí průrazné napětí poruchy. Energie uložená v kapacitě kabelu se prostřednictvím poruchy vybije a vygeneruje šířící se vlnu, která bude systémem zaznamenána a zobrazena jako tlumená oscilace. Periodu této oscilace lze využít ke stanovení skutečné vzdálenosti poruchy.[1]

Proudová vazba (ICE)

Předběžná lokalizace pomocí proudové vazby se osvědčila zejména u poruch ve spodním kiloohmovém pásmu a pro extrémně dlouhé vzdálenosti poruch u kterých metoda ARM často není schopna dosáhnout jakýchkoliv výsledků. Stejně jako u metody ARM se i zde náhlým vybitím rázového kondenzátoru spouští poruchový průraz. V důsledku toho se tlumená přechodová vlna pohybuje tam a zpět mezi místem poruchy a měřícím systémem. Induktivní oddělení proudu vyvolá zobrazení oscilací na displeji o periodě ekvivalentní vzdálenosti jedné poruchy.[1]

Úprava poruchy – Propalování

Děj známý jako propalování umožňuje přivést probíhající konverzi vysokoimpedenčních poruch na nízkoimpedanční příčné svody až k nasyceným zkratům. Z tohoto důvodu nejprve vyvolá porucha průraz nabitím měřeného objektu a poté se nepřetržitě přivádí vysoký proud který udržuje zapálený oblouk. Tento děj v ideálním případě způsobí, že propálený izolační materiál vytvoří vodivý uhlíkový můstek, čímž sníží odpor poruchy, která se stane lokalizovatelnou. Ovšem tato metoda se se doporučuje používat jen velmi zřídka u náročných poruch, neboť propalování velmi namáhá izolaci a v určitých případech může způsobit více škody než užitku.

Vyhledání kabelové trasy

Abychom mohli přesně vyhledat místo kabelové poruchy, musíme znát trasu kabelu. Základní princip trasování kabelu spočívá ve vytvoření elektromagnetického pole kolem trasovaného vedení pomocí generátoru signálu z vysílače. A to tak, že vysílačem pustíme do vedení střídavý proud s vlastní frekvencí. Toto elektromagnetické pole je následně snímáno a vyhodnocováno nad terénem přijímačem, který je na základě odezvy z indukovaného signálu schopen určit správnou polohu a případně i hloubku.[2] Dle zvoleného měřicího režimu trasovací soupravy. Takto určená trasa potom v terénu slouží pro přesné odměření vzdálenosti místa poruchy, nebo dohledání dalšími metodami.

Vlastní vyhledání poruchy

Cílem každé lokalizace poruch v kabelu je přesné stanovení místa poruchy, aby nemuselo docházet ke zbytečným výkopovým pracím. Přesná předběžná lokalizace pomáhá co nejvíce zúžit oblast hledání.

Test pláště a přesná lokalizace poruch pláště

Nejvýkonnější a nejpřesnější metodou na bodovou lokalizaci zemních spojení je metoda krokového napětí. Během lokalizace poruch pomocí metody krokového napětí jsou stejnosměrné impulzy s nastavitelnou pulzní frekvencí přiváděny do žíly postižené zemním spojením. Každý přivedený proudový impuls vstupující do země vytváří v oblasti napěťový trychtýř v okolí místa úniku (poruchy). Střed této oblasti lze přesně lokalizovat pomocí detektoru zemního spojení a příslušných zemních tyčí. Přičemž směr pravidelných výchylek displeje na přijímači navádí k místu poruchy. Tato metoda je vysoce efektivní i při poruchách, které mají ještě relativně vysoké přechodové odpory mezi žílou a zemí a umožňuje lokalizovat místo poruchy v terénu s přesností na několik centimetrů.

Přesná lokalizace poruch

Lokalizace rázovými vlnami je upřednostňovaná metoda přesného stanovení místa poruchy. Lze ji využít u většiny kabelových poruch.

Pomocí náhlého vybití rázového kondenzátoru jsou do vadného kabelu trvale přiváděny impulzy rázového napětí, které vyvolají napěťové oblouky v místě poruchy. Výsledný zvuk přeskoků se šíří v zemi a lze jej zaznamenat půdním mikrofonom. V případě, že dochází k dokonalému přeskoku, lze zvukový ráz slyšet i uchem bez použití jakýchkoliv přístrojů.

Rázový generátor umožňuje lokalizaci vysoko i nízko ohmových poruch na nízkonapěťových i vysokonapěťových kabelech. Výstupní napětí lze přesně nastavit ve čtyřech stupních: I. 0–4 kV, II. 0–8 kV, III. 0–16 kV, IV. 0–32 kV. Přičemž energie z vysokonapěťových rázovacích generátorů dosahuje v každém stupni maximální energie 1000 Joulů.

Příklady poruch na kabelech

V této části bakalářské práce jsou uvedeny reálné příklady poruch, které se staly v minulosti na kabelech distribuční soustavy. Jsou rozděleny do dvou částí na poruchy na kabelech nízkého napětí 0,4kV a na kabelech vysokého napětí.

Poruchy na kabelech NN

Porucha 1

Kabel sloužící pro napájení čtyř odběrných míst v chatové oblasti přestal propouštět napětí. Izolační stav byl pro přesné a rychlé nalezení poškozeného místa byla zvolena metoda krokového napětí. Střed napěťového trychtýře tvořený v místě poruchy byl označen u zděného pilíře s pojistkovou skříní. Z důvodu potvrzení, zda se jedná opravdu o místo poškození, bylo přistoupeno k ověření metodou akustickou. Tyto rázy byly slyšitelné pouhým uchem bez použití půdního mikrofону. Po odkrytí zeminy v místě označení bylo zjištěno, že došlo k narušení kabelu v místě základů pilíře. Působením vlhkosti došlo ke korozi hliníkového jádra a následnému rozpadnutí kabelu.



Obr. 7 Por.1-NN-označené místo



Obr. 8 Por.1-NN-obnažená porucha



Obr. 9 Por.1-NN-vystřižené porušené místo

Porucha 2

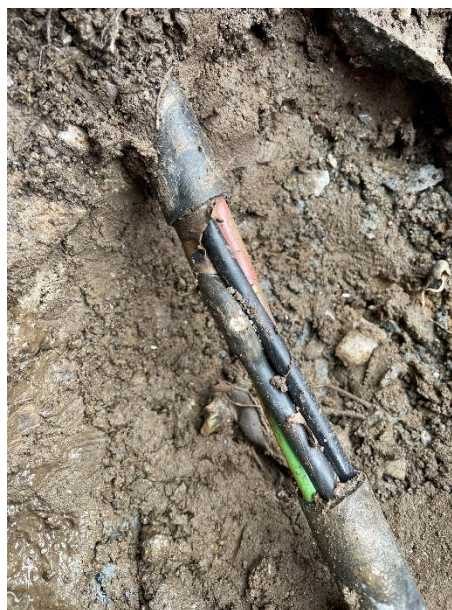
Změřením izolačního stavu bylo možné určit, že kabel sloužící jako přípojka pro rodinný dům má poškozenou pouze jednu fázi. Pro přesné dohledání místa poruchy byla zvolena metoda krokového napětí. Porucha byla zaměřena před kamennou opěrnou zdí. Po náročném odkrytí zabetonovaného kabelu v místě označení, bylo zjištěno, že narušení kabelu bylo způsobeno při usazování kamene použitého jako dlažba. Kabel byl těsně pod povrchem a měl strženou izolaci. Postupem času docházelo ke korodování a tvorbě oxidu hlinitého.



Obr. 10 Por.2-NN-označené místo



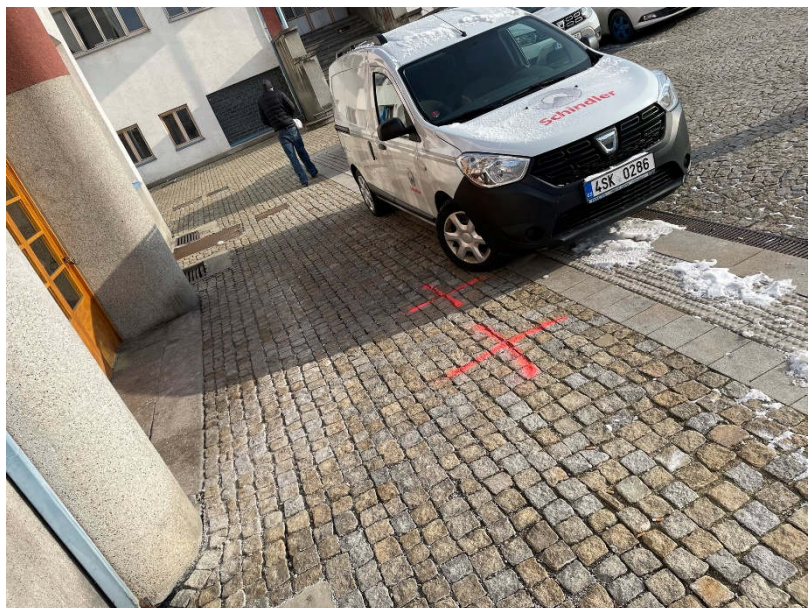
Obr. 11 Por.2-NN-obnažené místo



Obr. 12 Por.2-NN-detail místa poškození

Porucha 3

Při zaměřování poruchy mezi dvěma rozpojovacími skříněmi měřením izolačního stavu bylo zjištěno poškození dvou fází. Připojením přístroje generujícího napěťové impulzy pro metodu krokového napětí na první poškozenou fázi bylo nalezeno jedno místo. Poté byl přístroj připojen na druhou poškozenou fázi pro ověření, že je kabel poškozen v jednom místě. Tomu se tak nestalo a bylo zaměřeno druhé místo přibližně metr od první poruchy. Toto poškození bylo způsobeno při výkopových pracích, které probíhaly přesně v trase kabelového vedení asi tři měsíce před vznikem poruchy.



Obr. 13 Por.3-NN-označená místa

Porucha 4

V tomto případě došlo v úseku asi třiceti metrů po vydatných deštích k odplavení zeminy, která kryla kabel. A z důvodu, že trasa kabelu vedla v levé části úvozové lesní cesty. Byl kabel poškozen na několika místech vlivem kamenů, které protlačily izolaci po přejezdu těžké lesní techniky.



Obr. 14 Por.4-NN-obnažený kabel-foto1



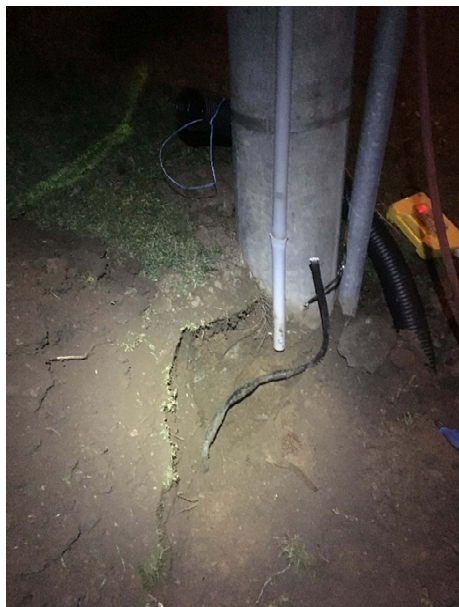
Obr. 15 Por.4-NN-obnažený kabel-foto2



Obr. 16 Por.4-NN-obnažený kabel-foto3

Porucha 5

Porucha vznikla na kabelu vedoucího z rozpojovací skříně na betonovém sloupu do hlavní pojistkové skříně na rodinném domě. Netypické bylo to, že došlo v jednu chvíli k úplné ztrátě napětí, aniž by vybavily jakékoliv nadřazené pojistky. Měřením izolačního stavu bylo zjištěno, že žádná z žil kabelu nevykazuje sebemenší známky svodového proudu. Vytyčení trasy kabelu po připojení generátoru signálu do skříně na sloupu nebylo možné. Po připojení na druhý konec kabelu do pojistkové skříně na RD bylo možné vytyčit trasu až ke sloupu. Připojením reflektometru z místa od RD byla změřena délka 59 metrů což odpovídalo změřené délce vytrasovaného vedení. Připojením reflektometru do skříně na sloupu přístroj ukazoval délku pouze 3 metry. Po ohledání byla nalezena promáčkнутá trubka. Obnažením kabelu u paty sloupu a vyjmutím z trubky byl nalezen dokonale přetrhnutý kabel právě v místě poškození trubky. Toto promáčknutí bylo způsobeno bagrem, který v blízkosti prováděl terénní úpravy a svou radlicí při nacouvání do sloupu kabel přerušil.



Obr. 17 Por.5-NN-obnažený kabel



Obr. 18 Por.5-NN-poškozená trubka



Obr. 19 Por.5-NN-detail porušeného kabelu

Porucha 6

Při měření izolačního stavu bylo zjištěno poškození jedné fáze. Vyhledání metodou krokového napětí nebylo úspěšné, proto následovala metoda akustická. Zvukové rázy se ozývaly z trafostanice, kde byl připojen měřicí přístroj. Po důkladné prohlídce byla nalezena porucha. Šlo o držák kabelu (sonapku), která přidržovala kabel v rozvaděči. Když byl tento kabel instalován, montážní dělník přitáhnul jistící šroub příliš, a protože část sonapky byla vyrobena z plastu, došlo k zašroubování pojistného šroubu až do kabelu.



Obr. 20 Por.6-NN-poškození kabelu



Obr. 21 Por.6-NN-sonapka (důvod poruchy)

Porucha 7

Poškozeny byly dvě fáze. Po zjištění přesné trasy proběhlo zaměření za pomoci metody krokového napětí a poté bylo místo ověřeno akustickou metodou. Označené místo za vzrostlým smrkem bylo odkopáno a zjištěno, že jak strom růstu tlačil svými kořeny na kabely , až se jeden z kabelů protlačil do ostrého kamene v zemině v blízkosti kabelů.



Obr. 22 Por.7-NN-místo poruchy



Obr. 23 Por.7-NN-detail poškození



Obr. 24 Por.7-NN-obnažený kabel

Porucha 8

Po příjezdu na místo bylo zjištěno porušení dvou fází měřením izolačního stavu. Při trasování kabelového vedení byla zjištěna kolize s dětskou prolézačkou, která působila tak, že byla instalována ne příliš dlouho před vznikem poruchy. Ihned bylo přistoupeno k metodě krokového napětí, která přesně potvrdila prvotní předpoklad. Při instalaci jedné z kotevních patek byl jeden ze dvou kabelů výrazně poškozen.



Obr. 25 Por.8-NN-označené místo



Obr. 26 Por.8-NN-obnažené místo poruchy



Obr. 27 Por.8-NN-detail poruchy

Porucha 9

Při této poruše nedošlo k vybavení jističího prvku, neboť nenastal zkrat. Poškozena byla pouze izolace jedné fáze. Vnikáním vody do kabelu docházelo k postupné korozi a rozpadu hliníkového vodiče, až k úplnému přerušení vodivého spojení. Narušení izolace kabelu bylo způsobeno cizím zásahem při výkopových pracích z důvodu realizace kanalizační přípojky.



Obr. 28 Por.9-NN-místo výkopu



Obr. 29 Por.9-NN-poškození kabelu



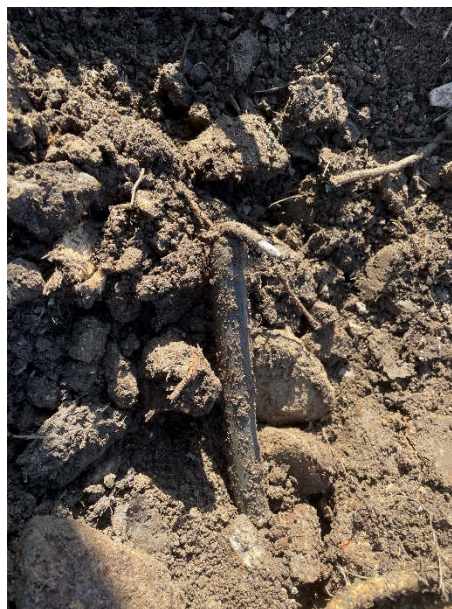
Obr. 30 Por.9-NN-detail zkorodované žíly

Porucha 10

Tento kabel slouží jako přípojka pro jedno odběrné místo a majitelé, kteří zjistili beznapěťový stav svého objektu kontaktovali poruchovou linku. Po příjezdu na místo poruchová četa zjistila, že v blízkosti nemovitosti majitele se na sousedním pozemku, přes který tento kabel vede prováděli skrývku zeminy a s největší pravděpodobností v těchto místech byl kabel narušen. Měřením izolačního stavu bylo zjištěno, že je narušený celý kabel. Při trasování kabelu se v jednom místě na pozemku, kde probíhala skrývka, signál zcela ztratil. Metoda krokového napětí zpřesnila toto místo, na kterém byl po odkopání nalezen zcela překopnutý kabel. Trasováním kabelu ze vzdálenějšího konce bylo nalezeno druhé přerušení. Nebylo nutné kopání, neboť kabel byl obnažen. Mezi těmito místy chybělo 25 metrů kabelu. Po nalezení poškozených míst byl znovu změřen izolační stav zbývajících kabelového vedení. Na úseku směrem k odběrnému místu byla následně zaměřena další porucha z důvodu zemního spojení dvou fází. Předpokládalo se, že došlo k protlačení kořenového systému do kabelu. Ale po odkopání byla nalezena stará motaná spojka, do které se dostala vlhkost a ztratila tak své izolační schopnosti. Po dalším měření byl již kabel v pořádku.



Obr. 31 Por.10-NN-místo 1.



Obr. 32 Por.10-NN-místo 1. detail



Obr. 33 Por.10-NN-místo 2. zcela obnažený kabel



Obr. 34 Por.10-NN-místo 3.

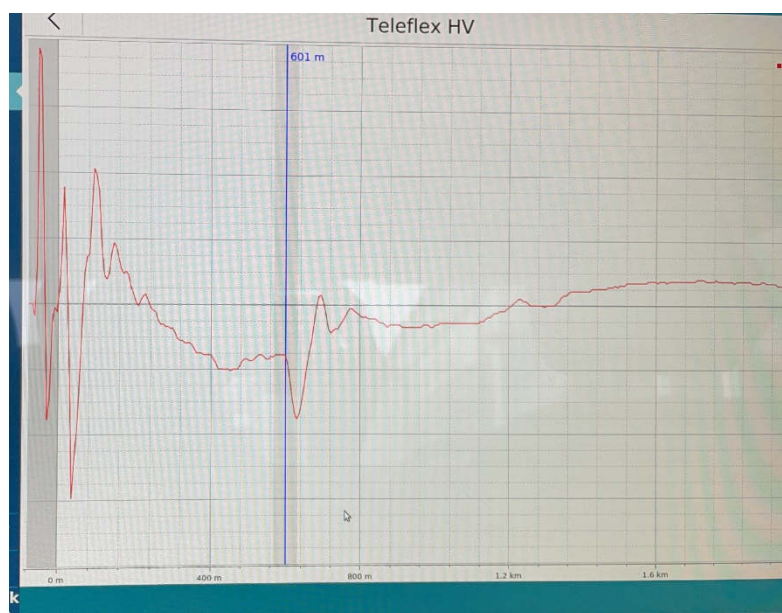


Obr. 35 Por.10-NN-vadná spojka.

Poruchy VN

Porucha 1

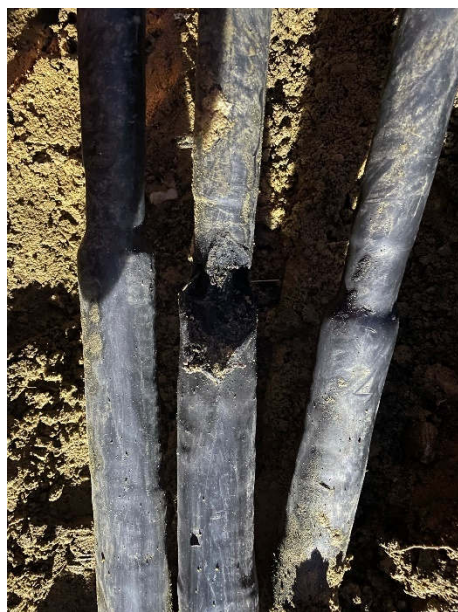
První zmíněná porucha se stala na kombinovaném kabelu (izolace z papíru impregnovaného olejem a plastovou izolací ze zesítěného polyetylénu). Trasa kabelu byla cca 610 metrů a vedla z kioskové trafostanice na kabelosvod (místo napojení kabelového vedení na venkovní síť). Porucha se chovala jako nízkoohmová neboť při vymezování úseku s poruchou došlo k opětovnému zapínání. Zkratové proudy vytvořily místo, které bylo velice pěkně zřetelné na reflektogramu (viz přiložené foto). Dohledání místa poruchy bylo provedeno akustickou metodou. Po obnažení označeného místa pod kabelosvodem byla nalezena hybridní přechodová spojka s poruchou v jedné fázi.



Obr. 36 Por.1-VN-reflektogram



Obr. 37 Por.1-VN-obnažená spojka



Obr. 38 Por.1-VN-detail poruchy 1



Obr. 39 Por.1-VN-detail poruchy 2

Porucha 2

Tato porucha vznikla na celoplastovém kabelu dlouhém cca 4500 metrů. Porucha byla předměřena pomocí metody ARM, která ukázala vzdálenost 1200 metrů. Vzdálenost byla přibližně odečtena z mapových podkladů a na úseku asi 100 metrů byla dohledána akustickou metodou s přesností jeden metr. Po provedení výkopu byla nalezena poškozená spojka.



Obr. 40 Por.2-VN-výkop na označeném místě



Obr. 41 Por.2-VN-detail poruchy



Obr. 42 Por.2-VN-opravený kabel

Porucha 3

Následující porucha vznikla při provádění napěťové zkoušky před uvedením kabelového vedení do provozu. Jednalo se o propojení dvou trafostanic vzdálených od sebe asi 1600 metrů. Kabel dle přiložené fotografie byl z roku 1980. Měření ukázalo, že je za hranic své životnosti, což potvrdil i vznik poruchy při měření. Na fotografii můžeme vidět velmi malé poškození, neboť měřicí přístroje nejsou schopny dodat vysoké výkony, které by způsobily mnohem větší poškození. Po opravě vznikly ještě další 3 poruchy v jiných místech, a proto se potom rozhodlo o jeho výměně v celé trase.



Obr. 43 Por.3-VN-detail poruchy



Obr. 44 Por.3-VN-typ kabelu + r.v.

Porucha 4

Po započatí měření byl zjištěn zkrat jedné fáze vysokonapěťového kabelu. Metodou ARM byla zjištěna přibližná poloha poruchy, po odečtení změřené vzdálenosti z mapových podkladů bylo přistoupeno k přesnému určení místa akustickou rázovou metodou za použití půdního mikrofону v úseku asi deseti metrů. Po označení místa s nejvyšší odezvou bylo místo odkopáno a obnaženo poškozené místo. Porucha vznikla v trase kabelu ztrátou izolačních vlastností způsobených stářím kabelu.



Obr. 45 Por.4-VN-obnažené místo poruchy



Obr. 46 Por.4-VN-porucha v trase kabelu



Obr. 47 Por.4-VN-detail poruchy

Porucha 5

Tato porucha vznikla na starém kabelu s papírovou izolací impregnovanou olejem. Izolace již nebyla schopná odolávat vysokému napětí a proto došlo k průrazu. Jako první bylo zjištěno, která fáze je postižená a následně byl připojen reflektometr, jelikož se jednalo o nízkoohmovou poruchu. Dle odečtené vzdálenosti bylo přisoupeno k přesnému dohledání akustickou metodou na úseku asi dvaceti metrů. Po odkopání zeminy v místě označení nebyla porucha viditelná a proto muselo dojít znovu k upřesnění akustickou metodou.



Obr. 48 Por.5-VN-obnažené označené místo



Obr. 49 Por.5-VN-vystřižené porušené místo



Obr. 50 Por.5-VN-porucha v místě označení



Obr. 51 Por.5-VN-detail poruchy

Porucha 6

I tato porucha vznikla na kabelu s papírovou izolací. Zaměření bylo provedeno pomocí vyhledání trasy, neboť mezi mapovými podklady a realitou byly jisté pochybnosti. Porucha byla lehce viditelná pomocí reflektometru a odměřena na vytyčené trase. Pro přesnost byla použita akustická metoda, rázy byly slyšitelné pouhým uchem bez použití půdního mikrofону. Po odkopání nebylo nutné místo poruchy upřesňovat, protože byla zkratovým proudem propálena izolace až ven z kabelu.



Obr. 52 Por.6-VN-Místo poruchy



Obr. 53 Por.6-VN-porucha

Porucha 7

V tomto případě také vznikla porucha na starém kabelu s papírovou izolací. Ztráta izolačních schopností je způsobena nemožností doplňovat olej do kabelu, který slouží jako izolační médium, je to způsobeno instalací hybridních přechodových spojek (papír-plast). Po jejich osazení na obou koncích dochází k ucpání papírového kabelu a postupné nenávratné degradace těchto úseků. Zaměření bylo provedeno za pomoci ARM a po vytrasování kabelu dohledáno akustickou metodou.



Obr. 54 Por.7-VN-zaměřené místo poruchy



Obr. 55 Por.7-VN-porucha



Obr. 56 Por.7-VN-opravené místo

Porucha 8

Kabel vedoucí městskou zástavbou, dlouhý 1300 metrů měl dle měření ARM ve fázi L1 ve vzdálenosti 510 metrů poruchu. Odečtením vzdálenosti z mapových podkladů byla odhadnuta přibližná poloha a na úseku deseti metrů dohledána přesně akustickou metodou. Po obnažení kabelu bylo nutné upřesnit místo, protože se jednalo o zkrat uvnitř kabelu.



Obr. 57 Por.8-VN-lokalizované místo



Obr. 58 Por.8-VN-obnažený kabel



Obr. 59 Por.8-VN-detail poruchy

Porucha 9

Při plánovaném diagnostickém měření bylo zjištěno, že kabelové vedení má ve fázi L3 poškozený plášť. Bylo rozhodnuto, že se provede zaměření plášťové poruchy a její následná oprava, aby do kabelu VN nepronikala vlhkost a izolace nepodléhala rychlé degradaci. Pro lokalizaci byla vhodná pouze metoda krokového napětí. Porušené místo bylo zaměřeno u hrany trafostanice. Po odkopání kabelu v místě označení nebylo vidět žádné poškození, a proto muselo být přistoupeno k dohledání místa poruchy. Ukázalo se, že byl kabel poškozen při realizaci utěsnění prostupu do kabelového prostoru pod trafostanicí. Oprava byla provedena opravnou manžetou a následné měření prokázalo, že se již žádné další poškozené místo na kabelu nevyskytuje.



Obr. 60 Por.9-VN-označené místo poruchy



Obr. 61 Por.9-VN-nalezená porucha



Obr. 62 Por.9-VN-detail poruchy

Porucha 10

U této poruchy nemuselo být provedeno dohledání přesného místa, neboť bylo možné odhalit poruchu pouze pohledovou kontrolou. V tomto případě došlo k zahoření kabelové koncovky v zapouzdřeném rozvaděči. Působení elektrického oblouku bylo tak velké, že došlo k masivnímu poškození celého rozvaděče, který musel být následně také vyměněn. Příčinou poruchy bylo to, že montážní firma nedodržela pokyny výrobce v návodu k montáži tohoto typu kabelových koncovek. Při kontrole po montáži, která proběhla přesně rok před vznikem této poruchy, byla pořízena fotografie těchto koncovek, protože existovalo podezření na chybu v montážním postupu.



Obr. 63 Por.10-VN-koncovky po poruše



Obr. 64 Por.10-VN-koncovky před poruchou

Srovnání lokalizačních metod

Již při základních předměřících metodách je nutné správné rozhodování, jakou další metodu zvolit. Volbou správné metody se značně zkrátí doba hledání poruchy a tím i následného obnovení zásobování energií. Zmenší se ekonomické dopady na odběratele, který po dobu poruchy dodávky elektrické energie většinou nedisponuje náhradními zdroji.

V případě, že je u kabelu nízkého napětí poškozena pouze jedna žíla (viz porucha 9) nelze použít jinou než metodu krokového napětí. Lze totiž bezpečně nastavit napětí i proud generovaný do poškozeného kabelu. Pokud bychom k dohledání použili rázový generátor, tak v tu chvíli dochází k neřízenému vybíjení veškeré energie v kondenzátorech, v místě poruchy do půdy a k výskytu nebezpečného krokového napětí.

Když je zjištěn mezifázový zkrat bez zemního spojení, nelze metodu krokového napětí použít. Protože nedochází k tvorbě napěťového trychtýře, je nutné použít metodu akustickou.

Existují ovšem typy poruch, které jsou mezifázové a mají nulovou ohmickou hodnotu. V těchto případech lze poruchu vidět pomocí radaru na reflektogramu, ale není možné ji dohledat akustickou metodou. Zde je nutné přistoupit k vytrasování kabelu a fyzickému odměření vzdálenosti v terénu.

Pokud ovšem vznikne porucha, jejíž izolační odpor je velmi vysoký desítky až stovky megaohmů, jedinou metodou je vzájemné porovnání všech žil kabelu pomocí reflektometrie. Následuje vyhledání trasy kabelu a odměření zjištěné vzdálenosti (viz porucha 5).

Může nastat i případ, že při trasování kabelu se signál úplně ztratí. Je tudíž předpoklad, že v místě ztráty odezvy je kabel zcela přerušen (viz porucha 10).

Vliv projektování kabelových vedení na následnou lokalizaci poruch

V dnešní době je při projektování a realizaci kabelových vedení uplatňován trend ukládání kabelů do ochranných plastových trubek (kopoflexová chránička). Existuje argument časové náročnosti, že při realizaci se provede výkop v požadovaných místech a s požadovanými rozměry. S ohledem na bezpečnost v okolí otevřených výkopů se položí chránička a ihned se výkop zasype. Až je tato etapa hotová. Přikročí se k protahování kabelu již položenou chráničkou. V případě, že je trasa přímá, bez jakýchkoliv zatáček, lze bezprostředně po zasypání protáhnout kabel zmíněnou trubkou. Pokud trasa přímá není, v každém ohybu vzniká velké tření a v mnoha případech kabel nelze protáhnout. Musí se provádět dodatečné výkopy. Existuje ovšem také možnost, že do chráničky spadne ostrý kámen. Ten při protahování ukládaný kabel mechanicky poškodí a ten pak ztratí své izolační schopnosti. Dalším problémem je obklopení kabelu v ochranné trubce vzduchem. Vzduch brání dostatečnému chlazení kabelu a tím se snižuje jeho maximální zatížitelnost. Velký problém nastává ve chvíli, kdy je na tomto kabelu porucha. V těchto případech není zabezpečen kontakt se zeminou a počet dostupných lokalizačních metod se rapidně snižuje. Metodu krokového napětí při poškození jedné žíly, nebo pláště kabelu, použít nelze. Protože se napěťový trychtýř bude tvořit vždy na koncích plastových chráničků. Pokud se jedná o mezižilový zkrat, tak akustická metoda je ve většině takovýchto případů použitelná. Ale dochází zde k šíření zvuku v trubce a přesná lokalizace je velice obtížná, protože se akustické rázy rozléhají. Z pohledu diagnostiky a následného měření je ekonomicky nejvýhodnější veškeré kabelové vedení ukládat do pískového lože. Pokud je ovšem požadována mechanická ochrana, kabel se uloží do betonových žlabů se zákrytovou deskou.

Závěr

Vyhodnocením poruch, které vznikly na kabelech nízkého napětí, lze konstatovat, že až na malé výjimky jsou poruchy způsobeny neoprávněným zásahem cizích osob, které většinou prováděly zemní výkopové práce v ochranném pásmu vedení, které energetický zákon definuje pro kabely nízkého napětí na jeden metr na obě strany kabelu.

U poruch na kabelech vysokého napětí sice takové poruchy po zásahu cizí osoby existují, ale ve většině případů jde o poruchy způsobené ztrátou izolačních schopností starých kabelů s papírovou izolací impregnovanou olejem, u kterých již neexistuje možnost, jak olej doplnit. Dále jsou poruchy způsobeny chybami v montáži kabelových souborů, jako jsou spojky a koncovky. Těmto poruchám lze ovšem předcházet, pravidelným a odborným školením montážních dělníků provádějící tuto činnost.

Při samotné lokalizaci poruch je nezbytné dodržovat všechny bezpečnostní předpisy a opatření, neboť v průběhu zkoušek se na měřených kabelech vyskytuje nebezpečné vysoké napětí, které tam nikdy za normálních okolností nebude.

Seznam literatury

- [1] MEGGER. Návod k použití
- [2] RADETON. Firemní informační příručka
- [3] Halliday, Resnick, Walker: Fyzika (český překlad) Vutium Brno 2000 ISBN 80-214-1869-9.
- [4] Trefný, K.: Zkoušky celistvosti pláště u VN kabelů typu AXEKCY. Vyhledání míst poruch na pláštích kabelů. Výzkumný ústav energetický Praha